

火山活動・地殻変動が平野部地下水に与える影響評価の手法に関する研究

岸原信義 | 平成9年度研究支援推進員（元佐賀大学理工学部教授）

1. 研究対象地と研究の背景

平成2年11月に噴火し、平成3・4・5年と大きな被害を島原地方にもたらしてきた雲仙普賢岳の下流、島原市周辺を対象地とした。

雲仙普賢岳は約200年前の寛政4年の噴火に際しては、その活動末期に島原市西部に位置する眉山（天狗山）が大崩壊を起こし、わが国最大の火山災害をもたらした。この崩壊の原因として幾つかの説が唱えられているが、現在最も有力な説としては「熱水増大説」と「地震・熱水複合作用説」があげられている。両説とも熱水が重要な要因としているが、熱水そのものの影響と熱水圧による地下水位の上昇の2つの作用が考えられる。このような過去の教訓に基づき、普賢岳の火山活動が始まると共に各機関により地下水位と水温の観測が開始された。

しかし、地下水位は降雨と密接な関係があり、また浅層の地下水温は気温の影響を受けているので、水位・水温の変化時期の把握、その変化の定量的把握に関する解析手法が確立される必要があった。このような社会的要請に答えるために研究手法の開発

と、その応用としての島原市内の地下水変動について検討を行った。

2. 解析手法に関する検討

水文時系列の解析手法については既に一部発表しているが¹⁾、今年度は更にその手法を改良・発展させた。

2.1 最適実効雨量に関する検討

地下水位変動や土石流発生に影響を及ぼす雨量は当日（当旬・当月）雨量だけでなく既往の雨量の累積効果があることは既に認められ、土石流発生雨量については幾つかの算定式が発表されている。まず、これらの算定式を検討し、基本的には同一の式に収斂する事を明らかにし、算定の絶対値に差はあるものの相対値は全く同じである事を示した。そして、緊急時の災害予測のためには、当日（当旬）の雨量が分かれば直ちに実効雨量が算定され、実測値と算定値の乖離が判定可能な算定式を選択した。これは古くから実効雨量の算定に用いられてきた式である¹⁾。

$$Rc = \alpha \cdot R_0 + \alpha^2 \cdot R_1 + \cdots + \alpha^{n-1} \cdot R_n$$

但し、 R_0 ：当日雨量、 R_n ： n 日前の日の雨量、 α ：減少係数である。

一般には物理的な意味が明瞭な半減期が用いられるが、半減期と減少係数との関係は $\alpha=0.5^{1/M}$ 、但し M は半減期である。

この式の特長は、式の右辺を α で括れば分かる様に、1 日前の実効雨量に α を乗じた値と当日雨量に α を乗じた値を足せば当日の実効雨量となる。

従って、パソコンの表計算ソフトを使えば、現場の技術者でも容易に当日の実効雨量が算出できる利点がある。更に、その実効雨量と水位との関係が求められていれば、その回帰式も同時に組み込んでおけば、当日雨量を入力するだけで、実効雨量・回帰推定値が求められ、実測値と推定値のプロット（乖離の程度）までパソコン表示が可能である。地下水位と最も関連の深い半減期の実効雨量は、地下水位と各半減期の実効雨量との相関行列を算出すれば求められるが、雨量と地下水位との関係には時差があるのが普通である。最適の時差を求める方法としては系列相関分析(相互相関分析)が用いられる。この2つを同時に計算するプログラムを開発し、この様にして求められた実効雨量を最適実効雨量と名づける事にした。

2. 2 時系列共分散分析

一般に1変量の2組間の平均値の間に差があるかどうかは分散分析で検討され、その差の統計的有意性は分散比である F 値で検討される。これが、相互に関連のある2変量の場合には共分散分析が用いられる。地下水位と実効雨量の場合は当然共分散分析が用いられるが、この統計的手法を用いて変化の時期を推定するため次の様な方法を採用した。まず、 n 個の時系列の場合、最初の3個と残りの $(n-3)$ 個との共分散分析を行い F 値を算出する。次の最初の4個と $(n-4)$ 個で F 値をと、順次最初の個数を増やしながら F 値を求め、 F 値の時系列図を作成する。この時の F 値の極値が変化の時期と推定される。但し、この大きな

F 値の影響で他の変化時期が隠されている可能性があるので、極値の前後でそれぞれ再度、最適実効雨量を求めて時系列共分散分析で検討する。この様にして算出された F 値が統計的な有意性が認められなくなるまで変化の時期を求めていく。

この方法を時系列共分散分析と名付けたが、変化のない時期で回帰分析を行っておけば、その回帰式で推定した他の時期の推定値と実測値の差が変化の量と考える事が出来る。つまり、変化量の定量的把握が可能となる。

3. 手法の現地適用結果

3. 1 熱水上昇時期の推定

雲仙普賢岳噴火後、水文現象的に最も衝撃的な出来事は島原ユースホテル井戸の異常昇温であった。島原温泉は泉温約30度、温泉ボーリングの深度は約200~500mである。平成3年4月、ユースから市役所への連絡で昨年の秋以降使用していなかった井戸が熱いので調べてほしいとの事であった。長崎県衛生公害研究所で分析の結果、温泉法の温泉に該当し、泉質は島原温泉と同じ「重炭酸土類泉」であった。この井戸の孔底は地表から僅かに9mに過ぎない。

重炭酸土類泉はヒドロ炭酸イオンが340 (mg/kg) 以上含まれる場合に温泉と認定されるが、ユース周辺の湧水地点などで水温とヒドラ炭酸含有量を観測し、両者の関係を図-1に示した。水温が20度以上になれば重炭酸土類泉に該当する様になる。この様な観点から湧水地点の水温調査を行い、水温異常帯(熱水上昇帯)の存在を認識した。

図-2は、噴火活動が始まる以前から水位観測が行われていた川本宅井戸水位の時系列である。図を見ると、特別に異常な水位上昇期の存在が認められる。すなわち、例年最も水位が低下している冬期(1月)に平成4年と平成6年に過去最高の水位を示

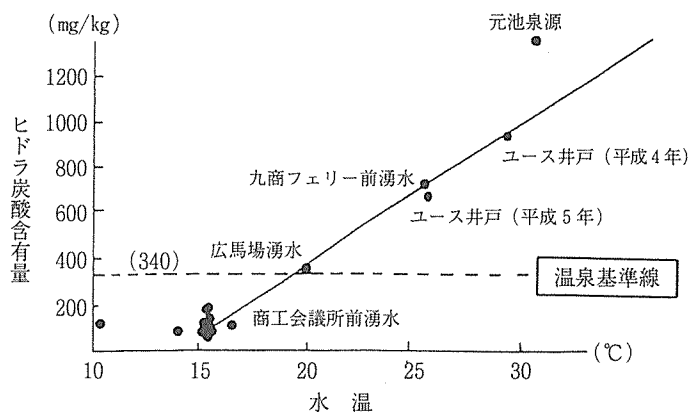


図-1 水温とヒドラ炭酸含有量との関係

している。前述の手法で解析すると、この異常は平成3年7月頃より起こっており、観測が行われていた他の2つの井戸でも7月から水位が上昇している。この頃は大火砕流の発生など火山活動に伴う被害が多く発生すると共に、井戸水が黒く濁ったとか、井戸水から泡が沸上がるなどの市民からの

報告も相次いでいた。この水位異常は平成3年の暮れから平成4年にかけてピークに達している。

つまり、この異常水位の発生と熱水上昇とは密接な関連があり、平成3年7月頃より上昇を始めた熱水は平成3年暮れに上昇のピークを迎えた様である。

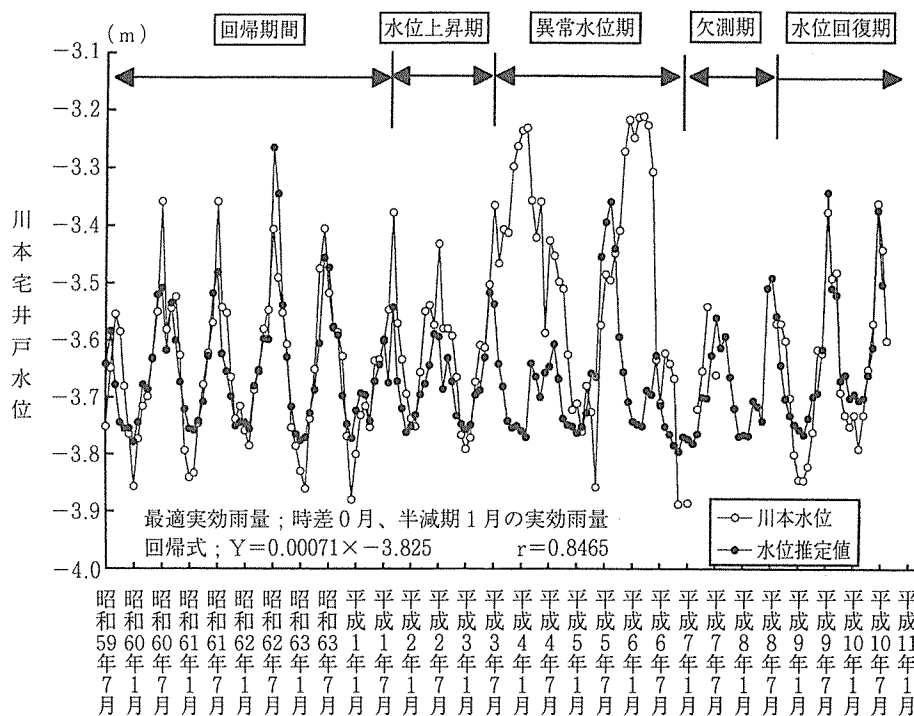


図-2 川本宅井戸水位の実測値と推定値

3. 2 地下水位・水温の現状について

地下水は恒温層に胚胎している時には年間を通じて水温が一定であるが、眉山に掘削された深井戸の水温が上昇を始めている。平成6年の14.1°Cから平成8年5月14.2°C、平成9年5月14.3°C、平成10年2月14.4°Cと僅かではあるが、着実に時間間隔を狭めながら昇温している。これに対して、浅い井戸の水温は気温の影響を受けて季節変動をしめしているが、浅井戸であるに拘らず季節変動を示さない井戸が前述のユース井戸である。ほぼ一定の水温に示しながら、平成5年に一度25°C前後まで低下した水温が平成6年25.2°C、平成7年26.6°C、平成8年28.4°C、平成9年28.7°Cと上昇を続けている。その他の浅井戸は季節変動を示している。その他の浅井戸は季節変動を示している。前述の手法を用いて水温と最適実効気温との解析を行うと特に平成9年7・8月頃より水温上昇が顕著である。現在観測が継続されている大半、特に眉山に設置された3つの井戸と湧水量は平成7・8年の水位・湧水量低下期を経て、平成9年7月頃より水位が急激に上昇し始め、降雨と水位との関係が平成3年当時の関係に戻っている（上昇している）。

地温は地表下30センチで観測されているが、ユース井戸周辺の地温は年々上昇すると共に平成9年7月頃からの上昇が激しい。つまり、島原市内の地下水位は平成9年7月頃より降雨と地下水位との関係が平成3年当時と同様になり、地下水位・地温もこれに対応するかの如く8月頃より昇温が激しくなっている。雲仙普賢岳の火山活動は終息宣言が出されたが、地殻変動に伴うと思われる地下水異常は沈静化よりは激化の徴候が認められる。

4. 最後に

センターに在職中に既往の島原データを洗い直し、一応の結果を得ることが出来た。手法に関しては共同研究として学会誌に発

表予定で、最近の島原市内の地下水変動様相については平成10年3月13日の検討委員会で発表予定である。

検討の機会を与えて頂いたセンターに厚く謝意を表する。

参考文献

- 1) 榎田・大串・岸原ほか：水文諸量の時系列解析手法に関する検討(1)，水文・水資源学会誌，Vol.7，No.3，pp.177-187，1994.

著者略歴



岸原 信義

(きしはら のぶよし)

- 1954年 九州大学農学部林学科卒業
- 1970年 岩手大学農学部山地利用研究施設助教授
- 1984年 岩手大学農学部山地利用研究施設教授
- 1984年 佐賀大学理工学部土木工学科教授
- 1994年 佐賀大学低平地防災研究センター長（併任）
- 1996年 佐賀大学定年退官